EINE NEUE PRÄZISIONSMETHODE

ZUR BESTIMMUNG

GEOGRAPHISCHER LÄNGEN

AUF DEM FESTEN LANDE.

EIN VORTRAG

GEHALTEN AUF DEM X. DEUTSCHEN GEOGRAPHENTAG
IN STUTTGART IM JAHR 1893

VON

DR. **HEINRICH G. SCHLICHTER**
IN LONDON.

SONDER-ABDRUCK AUS DEN VERHANDLUNGEN DES X. DEUTSCHEN
GEOGRAPHENTAGES IN STUTTGART, 1893.
(VERLAG VON DIETRICH REIMER IN BERLIN.)

BERLIN 1893.
DRUCK VON W. PORMETTER.



Die Bestimmung geographischer Längen galt von jeher als eines der schwierigsten Probleme der mathematischen Geographie. Bekanntlich giebt es verschiedene Methoden, um diesen Zweck zu erreichen. Die einfachste, die Zeitübertragung durch Chronometer, ist heutzutage zur See das verbreitetste Mittel der Längenbestimmung, während auf ausgedehnten Landreisen die Ermittelung der Längen durch Chronometer oder sonstige Uhren nie zu guten Ergebnissen geführt hat. Terrestrische Signale, namentlich telegraphische, haben sich als von grofser Wichtigkeit zur Bestimmung von Längen, namentlich von Sekundär-Meridianen erwiesen[1]; allein diese Methode ist natürlich nur für die durch Telegraphen verbundenen Orte anwendbar. Gewisse kosmische Signale andererseits, wie das Bersten, Auftreten oder Verschwinden von Meteoren, sind in Bezug auf praktische Bedeutung kaum erwähnenswert. Anders steht es mit den Verfinsterungen des Mondes und der Jupiters-Trabanten. Mondfinsternisse ereignen sich nur selten; allein dieselben sind insbesondere deshalb zu erwähnen, weil man schon seit den ersten Anfängen der Geographie im Altertum klar erkannte, dafs Mondfinsternisse ein einfaches und geeignetes Mittel zur Bestimmung des geographischen Längenunterschiedes zweier Orte bilden[2]), und wenn nur eine rohe Annäherung erwartet wird, ist dies in der That auch der Fall. Allein bekanntlich

---

[1]) Siehe Raper, The Practice of Navigation and Nautical Astronomy, 19th edition, 1891, S. 391 sowie die Anmerkungen zu der Tabelle S. 392—395.

[2]) Siehe Ptolemaeus, Geographia, lib. I, cap. 4; Delambre, Astronomie théorétique et pratique, tome II, 1814, S. 336.

sind die Grenzen des Erdschattens so unbestimmt, dafs wir von dieser Methode unmöglich exakte Resultate erwarten können. Ähnlich ist es mit den Verfinsterungen der Jupiters-Trabanten, sowie mit den Vorübergängen dieser Satelliten und ihrer Schatten vor der Scheibe Jupiters. Obgleich die Beobachtung dieser Vorgänge ein bequemes Mittel der Längenbestimmung bilden würde, so sind doch unglücklicherweise auch hier die Fehler zu grofs, als dafs eine Zuverlässigkeit erwartet werden könnte. Mondhöhen können unter gewissen Umständen, namentlich in niedrigen geographischen Breiten, zur Bestimmung der Länge verwendet werden[1]. Weit besser in Bezug auf Genauigkeit als die besprochenen Methoden sind Sonnenfinsternisse, Venus-Durchgänge und Sternbedeckungen, doch finden dieselben nur selten statt. Was die Sonnenfinsternisse und Venus-Durchgänge betrifft, so ist dies eine bekannte Thatsache, und in Bezug auf Sternbedeckungen giebt Titjen[2] an, dafs die Zahl derselben an dem gleichen Ort in einem Jahr für Sterne bis zur 4. Gröfse (einschl.) im Mittel 6, und selten mehr als 9, und für Sterne bis zur 5. Gröfse (einschl.) im Mittel 20, und selten mehr als 27 beträgt. Kulminationen oder Vorübergänge des Mondes und eines benachbarten Sternes über einen bestimmten — nicht zu weit vom Meridian entfernten — Vertikalkreis sind weitere Mittel zur Feststellung der geographischen Länge eines Ortes; allein Peirce und Chauvenet haben klar nachgewiesen, dafs dieselben keinen Anspruch auf dieselbe Genauigkeit wie z. B. Sternbedeckungen machen können, sondern dafs 15 Längensekunden (in Bogen, nicht in Zeit) die äufserste Genauigkeitsgrenze bilden[3], und dafs selbst dieses Resultat nur bei langen Serien-Beobachtungen erreicht werden kann[4]. Daraus geht hervor, dafs für viele Zwecke, z. B. die Ermittelung von Sekundär-Meridianen, die letzteren Methoden nicht exakt genug sind. Dazu kommt noch, dafs bei denselben meist nur Sterne von 4. bis 6. Gröfse zur Verwendung kommen, und dafs, wie Chauvenet[5] und Coles[6] gezeigt haben, die Beobachtungen mit allem, was damit zusammenhängt, auf einer Reise eine zeitraubende und

---

[1] Siehe Raper, Practice of Navigation etc. 1891, S. 319; Garrard, Longitude made easy from the Moon's Altitude only, London 1787.

[2] Neumayer, Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen, 1875, S. 33.

[3] B. Peirce, siehe United States Report of the Superintendent of the Coast Survey for 1854, Appendix S. 115; for 1855 S. 16—17.

[4] Chauvenet, A Manual of Spherical and Practical Astronomy, 4th edition, vol. I, 1868, S. 370.

[5] Chauvenet, a. a. O., vol. I, S. 372.

[6] Freshfield & Wharton, Hints to Travellers, 6th edition, 1889, S. 198—200.

komplizierte Sache sind, so dafs dieselben weder vom Standpunkt der Präzision noch von dem der Einfachheit aus empfohlen werden können. Alle diese Methoden leiden somit entweder an bedeutenden Fehlern oder an nicht hinwegzuräumenden Unzulänglichkeiten; und in letzterer Hinsicht ist es namentlich zu beklagen, dafs gerade diejenigen astronomischen Vorgänge, welche absolut genaue Resultate zu geben vermögen, — nämlich Sonnenfinsternisse, Venus-Durchgänge und Sternbedeckungen — wie wir gesehen haben, nur selten beobachtet werden können. Es ist somit unmöglich, unter den bisher besprochenen Methoden eine einzige zu finden, welche, was Präzision und Allgemeinheit der Anwendung betrifft, den Anforderungen auf Landreisen entsprechen würde.

Aber bekanntermafsen giebt es noch eine weitere Methode, welche vielfach zu Land und Wasser verwendet worden ist, nämlich die Messungen mit dem Sextanten und anderen Reflexionsinstrumenten von Distanzen, welche der Mond von gewissen hellen Sternen hat, die nahe der Mondbahn liegen. Dafs diese Methode der Monddistanzen — theoretisch betrachtet — eine ausgezeichnete und bei weitem die beste aller in Betracht kommenden Bestimmungsarten der geographischen Länge ist, ergiebt sich einerseits daraus, dafs die Geschwindigkeit der Bewegung des Mondes in Bezug auf solche Sterne, welche seiner Bahn nahe liegen, entweder so grofs wie die Änderung der Rectascension selbst, oder noch gröfser ist; und andererseits durch die grofse Einfachheit des Prinzips und die unbeschränkte Benützbarkeit der Methode, welche bei klarem Himmel stets angewandt werden kann, aufser wenn es Neumond oder ganz kurz vor- und nachher ist, ein Umstand, der in praktischer Hinsicht gar nicht in Betracht kommen kann. Somit bieten uns die Mondistazen alles, was wir zur geographischen Längenbestimmung brauchen: Genauigkeit, Einfachheit und unbeschränkte Häufigkeit der Anwendung. Professor Jordan[1]) sagt ganz korrekt: „Das Himmelsgewölbe mit seinen Sternen und dem darauf wandelnden Mond stellt gewissermafsen eine grofse Weltuhr vor; der Himmel ist das Zifferblatt, die Sterne sind die Ziffern, der Mond ist der Zeiger, ...“ Trotz alledem waren jedoch die Resultate der Monddistanz-Beobachtungen bisher in vielen Fällen ganz unbefriedigend, sobald ein gewisser Grad von Präzision verlangt wurde. Die Ursache hiervon ist in verschiedenen Umständen zu suchen, insbesondere in der Nichtberücksichtigung gewisser Korrektionen des jeweiligen Instrumentes und in der ungenügenden Übung vieler Beobachter für die betreffenden Messungen. Was ersteren Punkt betrifft,

[1]) Grundzüge der astronomischen Zeit- und Ortsbestimmung, 1885, S. 287.

so mufs jedes für genaue Beobachtungen bestimmte Reflexionsinstrument einer sehr sorgfältigen Prüfung unterworfen werden, wie dieselbe heutzutage insbesondere an der Deutschen Seewarte zu Hamburg mit wissenschaftlicher Schärfe durchgeführt wird. Jedes Instrument, dessen Qualität bei dieser Prüfung sich nicht als erster Klasse erweist, sollte für wissenschaftliche Präzisionszwecke unweigerlich verworfen werden. Ferner sollte bezüglich des zweiten Punktes es zum Prinzip gemacht werden, keinen ungeübten Beobachter an Monddistanz-Messungen mit Reflexionsinstrumenten herantreten zu lassen; denn die Erfahrung hat gezeigt, dafs die von solcher Seite herstammenden Resultate in den meisten Fällen dermafsen unzuverlässig sind, dafs Verwirrung und Unsicherheit in Bezug auf geographische Längen die notwendige Folge sind. Hierfür haben unsere Geographen und Kartographen hundertfache Beläge in Händen. In dieser Hinsicht hat meine neue, nachher zu besprechende Methode der photographischen Monddistanzmessung grofse Vorzüge, da sie mit Leichtigkeit von jedermann ausgeführt werden kann, ohne dafs der Beobachter im Stande ist, die Genauigkeit der Resultate zu beeinflussen. Ich werde demnächst in einer besonderen Abhandlung eine Vergleichung der photographischen und der Sextanten-Methode vornehmen. Allein ich möchte schon hier meinen verbindlichsten Dank dem Herrn Geheimen Admiralitätsrat Prof. Dr. Neumayer, Direktor der Deutschen Seewarte zu Hamburg, aussprechen für die aufserordentlich wertvollen Mitteilungen, welche ich durch ihn über den heutigen Stand der Prüfung von Reflexionsinstrumenten erhalten habe. Seinen Bemühungen, sowie denen des Herrn Admiralitätsrats Koldewey und des Herrn H. Eylert ist es zu danken, dafs wir in der Lage sind, unsere heutigen Reflexionsinstrumente so haarscharf auf ihre Qualität prüfen zu können, dafs dadurch aufserordentlich viel für die wissenschaftliche Verwendbarkeit dieser Instrumente gewonnen ist. Dies ist, was Monddistanzen anbetrifft, für kompetente Fachmänner ein bedeutender Vorteil; im allgemeinen jedoch fafst Professor Hammer[1]) die Sachlage treffend in folgende Worte zusammen: „Direkte Messung von Monddistanzen erfordert nun schon mit Rücksicht auf die Ausführung der Messung selbst längere Übung und mit Rücksicht auf genügend vollständige Untersuchung des Instruments (Sextant oder Reflexionsvollkreis) sehr grofse Sorgfalt, so dafs man die genügende Messung der Monddistanzen zu den schwierigsten Arbeiten des Forschungsreisenden zählen mufs.“

Unter diesen Umständen bin ich der Ansicht, dafs eine Beobachtungsmethode, die sich von den bisher angewandten unterscheidet, und

[1]) Petermann's Mitteilungen, 1893, S. 88.

welche die praktischen Vorteile der Sextantenmessung mit der Genauigkeit der Methoden der Sternbedeckungen, Sonnenfinsternisse und Venus-Durchgänge verbindet, nicht blofs dem Reisenden willkommen sein wird, der in Eile fremde Länder durchzieht, sondern auch denjenigen Geographen und Astronomen, welche die Resultate verarbeiten und eine genaue Kenntnis des Gegenstandes besitzen. Diese Methode besteht darin, dafs der Mond zusammen mit einem der deutlich sichtbaren Planeten oder mit einem der Fixsterne erster und zweiter Gröfse, welche nahe der Mondbahn liegen, auf einer photographischen Platte in möglichst kurzer Zeit zu verschiedenen Malen photographiert wird[1]). Die gewöhnliche photographische Camera ist aus verschiedenen Gründen ungeeignet zur Anstellung solcher Beobachtungen. Erstens bietet die gewöhnliche Einrichtung mit zusammenlegbaren Bälgen bei weitem nicht diejenige Festigkeit der Aufstellung, welche für die — nachher zu besprechenden — mikrometrischen Messungen erforderlich ist. Sodann, da mehrere Exponierungen in so kurzer Zeit als möglich auf die Platte gebracht werden müssen, mufs die Kassette beweglich sein; und drittens ist es ein Haupterfordernis, dafs der Abstand der Platte von der photographischen Objektivlinse während der ganzen Dauer einer Beobachtungsreihe unverändert bleibt, da sonst gleiche Winkel durch lineare Abstände von verschiedener Gröfse repräsentiert würden. Die Camera, welche ich mit sorgfältiger Berücksichtigung dieser verschiedenen Punkte herstellen liefs, entspricht allen diesen Erfordernissen. Sie besteht aus einem rechtwinkligen Gehäuse mit festen Wandungen aus Holz oder Metall. Die Einstellung erfolgt in der gewöhnlichen Weise und wird durch zwei starke Schrauben (oben und unten am Apparat) festgehalten. Hinten an der Camera, wo sich die Visierscheibe befindet, ist ein Federarrangement angebracht, vermittelst dessen die Stellungen der Kassette in Abständen entweder von $^1/_4$, oder $^3/_8$, oder $^1/_2$ Zoll (englisch) verändert werden können. Die untere Hälfte der Rückseite der Camera ist durch eine Wand abgeschlossen, und um die zu photographierenden Himmelskörper in die richtige Stellung zu bringen, wird eine Visierscheibe entweder von mattem oder gewöhnlichem Glas verwendet, welche genau die obere Hälfte der Rückseite der Camera einnimmt, während die untere Hälfte der Visierscheibe aus Holz oder Metall besteht. Die horizontale Trennungslinie der Glasplatte und des unteren Teiles der Visierscheibe ist mit

[1]) Vergleiche Schlichter, Celestial Photography etc., in: Proceedings of the Royal Geogr. Soc. 1892, S. 714—715; und Hammer, Längenbestimmung aus photographischen Monddistanzen, in Petermann's Mitteilungen 1893, S. 88—89.

einer Millimeterskala versehen, deren Mitte genau in die Längenaxe der Camera fällt. Diese Millimeterskala hat eine Graduierung, welche vom Centrum ausgehend rechts und links die gleichen Zahlen aufweist. Es ist ersichtlich, dafs dieses ganze Arrangement von aufserordentlicher Einfachheit ist, indem die Camera nur aus einem Holz- oder Metallkasten von geringer Gröfse besteht, an dessen Rückseite die Kassette in bestimmten Abständen in die Höhe gezogen, und die Monddistanz mit Rücksicht auf die Längenaxe des Apparates in passender Weise adjustiert wird. Ebenso einfach ist die Ausführung der Beobachtung selbst. Man richtet den Apparat nach Mond und Stern, und wenn beide Himmelskörper auf der Visierscheibe sichtbar sind, bringt man die Bilder durch Drehung der Camera auf die besprochene Millimeterskala und macht sie annähernd gleich weit vom Centrum der Skala abstehend. Dann stellt man genau ein, schraubt fest, setzt die Kassette ein, und beginnt, indem man die Uhrzeit und die Dauer der Exponierungen und Intervalle notiert, zu exponieren. Am Ende einer jeden Exponierung wird die Kassette mit Hülfe des oben erwähnten Federarrangements um einen bestimmten Abstand in die Höhe gehoben. Man exponiert am besten 15 oder 20 Sekunden, mit 15 bzw. 10 Sekunden Zwischenpause, sodafs im Verlauf jeder Minute zwei Exponierungen gemacht werden. Um die Winkelwerte zu bestimmen, sowie um alle Möglichkeiten etwaiger Fehler, sei es der Objektivlinse, oder der Platten, oder auch des Mikrometer-Mafsstabes (von welchem nachher gesprochen werden soll) auszuschliefsen, wende ich auf Anraten einer der ersten Autoritäten Englands in dieser Hinsicht, des Herrn H. H. Turner, M. A., F. R. A. S., vom Kgl. Observatorium zu Greenwich, ein Fixsternpaar an, das in genau derselben Weise photographiert wird. Es wird hierbei stets ein solches Paar genommen, dessen beide Sterne ungefähr ebensoweit von einander abstehen wie die beobachtete Distanz zwischen Mond und Stern, und selbstredend mufs für die Fixsterne die Fokaldistanz des Apparates die gleiche bleiben wie bei der dazu gehörigen Mondbeobachtung. Die Positionen der beiden Fixsterne werden dem „Nautical Almanac“ oder einem Fixsternkatalog entnommen; deren Winkeldistanz kann leicht daraus berechnet und mittels einer ganz einfachen Formel die Winkeldistanz zwischen dem Mond und dem dazu gehörigen Stern daraus abgeleitet werden[1]).

Die Resultate, welche ich mit diesen photographischen Monddistanzen erhalten habe, zeigen, dafs eine bessere Methode, was Prä-

[1]) Es ist selbstredend, dafs die Ortszeit und die geographische Breite bekannt sein und Thermometer und Barometer in der gebräuchlichen Weise abgelesen werden müssen.

zision und Einfachheit betrifft, kaum denkbar ist. In Bezug auf den letzteren Punkt habe ich noch beizufügen, dafs einerseits die Kenntnis der Hauptsterne des Himmels, die sich jedermann mit der gröfsten Leichtigkeit erwerben kann, für die praktische Anwendung dieser Methode vollauf genügend ist, während andererseits die Kenntnis der photographischen Manipulationen nicht weiter zu gehen hat als bis zur Entwickelung der Negativbilder. Ich selbst hatte, ehe ich diese Beobachtungen anfing, niemals eine photographische Platte entwickelt, und hatte von dem ganzen photographischen Verfahren gar keine Ahnung; aber dasselbe ist hier so aufserordentlich einfach, dafs ich ungefähr eine halbe Stunde brauchte um das Nöthige vollständig zu erlernen. Als bester Entwickler, den ich bis jetzt kennen gelernt habe, erwies sich Hydroquinon, angewandt nach dem folgenden Verfahren von Thomas.

Man setzt in einer Flasche die folgende Lösung an:

Hydroquinon	15 g
Schwefligsaures Natron	100 g
Citronensäure	5 g
Bromkalium	4 g
Wasser	900 cbcm

und schüttelt bis sich alles gelöst hat. Ferner wird in einer zweiten Flasche eine Natronhydrat-Lösung angesetzt von der folgenden Zusammensetzung:

Natronhydrat	15 g
Wasser	900 cbcm.

Von diesen beiden Lösungen werden, ehe man zu entwickeln anfängt, gleiche Teile abgemessen, gemischt und geschüttelt. Hierauf wird sofort mit dieser Mischung 7 bis 10 Minuten lang entwickelt, dann die Platte gut in Wasser gespült, dieselbe hierauf 5 Minuten lang in Natriumhyposulfit gebracht, wiederum gut in Wasser gespült, und schliefslich die Platte 10 Stunden lang in ein geräumiges Gefäfs mit reinem Wasser gelegt. Zuletzt wird an der Luft getrocknet, und die Platte ist dann zur mikrometrischen Messung fertig.

Was nun die Sterne betrifft, so liegen die folgenden nahe der Mondbahn und sind grofs genug, um bei klarem Himmel für photographische Monddistanzen benützt werden zu können:

1) α Arietis
2) α Tauri (Aldebaran)
3) β Tauri
4) γ Geminorum
5) β Geminorum (Pollux)
6) α Leonis (Regulus)
7) α Virginis (Spica)
8) α Librae

9) δ Scorpii
10) β Scorpii
11) α Scorpii (Antares)
12) η Ophiuchi
13) σ Sagittarii,

sowie die Planeten:

14) Venus
15) Mars
16) Jupiter
17) Saturn.

Wir haben nun zu untersuchen, ob diese neue Methode in der That absolute Präzision und damit die langgesuchte Lösung des Längenproblems bietet. Es ist leicht zu zeigen, wie sich dies verhält. Coles[1]) konstatiert, dafs alle Methoden, welche die Stellung des Mondes mit Bezug auf die Sterne nicht allermindestens mit einer Genauigkeitsgrenze von $^1/_{120}$ des Monddurchmessers zu bestimmen vermögen, unbrauchbar für geographische Längen sind. Wenn wir nun den Winkeldurchmesser des Mondes im Durchschnitt zu 1867 Bogensekunden annehmen, so müssen die Instrumente, die wir für die Bestimmung geographischer Längen benützen wollen, allermindestens eine Genauigkeitsgrenze von $15\frac{1}{2}$ Bogensekunden haben. Ich füge nun einige Beobachtungen bei, welche photographische Mond- und Sterndistanzen darstellen, die mit meinem oben beschriebenen Apparat erhalten wurden.

Venus und Mond 31. März 1892.	Spica und Mond 5. Juni 1892.	α und γ Cassiopejae 5. Juni 1892
1) 13.442 mm	1) 20.646 mm	1) 27.074 mm
2) 13.459 „	2) 20.655 „	2) 27.074 „
3) 13.468 „	3) 20.663 „	3) 27.074 „
4) 13.476 „	4) 20.672 „	4) 27.074 „
5) 13.485 „	5) 20.680 „	5) 27.091 „
6) 13.493 „	6) 20.697 „	6) 27.091 „
7) 13.510 „	7) 20.706 „	7) 27.074 „
8) 13.519 „	8) 20.714 „	8) 27.074 „

Die Distanzen sind in Millimetern und Bruchteilen von Millimetern ausgedrückt und wurden mit Hülfe eines Okular-Mikrometers gemessen, von welchem ein Teil $\frac{17}{1000}$ eines Millimeters entspricht. Die einzelnen Monddistanzen sind in Zwischenräumen von je einer halben Minute genommen worden, und die Tabellen weisen die Änderungen der Distanzen vom Anfang bis zum Ende der einzelnen Beobachtungsreihen aufs deutlichste auf. Dafs diese Distanzänderungen einzig und allein die Eigenbewegung des Mondes repräsentieren, ergiebt sich daraus,

[1]) The Art of Observing, in: The Scottish Geographical Magazine, 1891, S. 640.

dafs die Distanzen der Fixsterne, welche in genau derselben Weise gemessen und photographiert wurden, sich nicht der Zeit entsprechend ändern, wie die Monddistanzen dies thun. Die Beobachtungen wurden mit einer Dallmeyer'schen Objektivlinse (*Rapid Rectilinear Lens*, $10 \times 8''$)[1]) ausgeführt, wobei ein Winkel von $34°$ einem Abstand von 200 mm entspricht. Die mikrometrischen Messungen wurden mit einem Zeifs'schen Mikroskop gemacht, dafs mit dem Abbé'schen Beleuchtungsapparat versehen ist. Die Genauigkeitsgrenze dieser mikrometrischen Beobachtungen ist der hunderte Teil eines Millimeters. Dieser Betrag[2]) entspricht 6 Bogensekunden für jede einzelne Exponierung. Da jedoch jede Einzelbeobachtung das Mittel aus 16 oder mehr Exponierungen ist, so ist die Genauigkeitsgrenze mindestens dreimal so grofs[3]) und eträgt daher mindestens 2 Bogensekunden. Dies ist, wie gesagt, für jede Einzelbeobachtung, welche der Mittelwert von 16 oder mehr Exponierungen ist, der Fall. Zu all dem wird eine verhältnismäfsig kleine Objektivlinse verwendet, und die ganze Beobachtung beansprucht nur kurze Zeit. Es ist ersichtlich, dafs die Genauigkeit mehr als siebenmal so grofs ist als diejenige, welche Coles für die Genauigkeitsgrenze einer Längenbestimmung, wie oben erklärt, angiebt. Selbstverständlich läfst man es nicht bei einer Einzelbeobachtung bewenden, sondern durch Wiederholung derselben kann das Resultat noch weiter bedeutend verschärft werden. Wer mit Okular-Mikrometermessungen vertraut ist, kann diese Angaben mit Leichtigkeit nachprüfen. Da sich unter dem Mikroskop bei okularmikrometrischen Messungen nur kleine Distanzen in die Mitte des Gesichtsfeldes bringen lassen, so habe ich durch die bekannte Firma Troughton & Simms in London eine äufserst feine Millimeterskala auf Glas konstruieren lassen, welche auf die photographische Negativplatte in solcher Weise aufgeschraubt wird, dafs die ganzen Millimeter der Entfernung von Mond und Stern direkt

---

[1]) Diese Dallmeyer'schen Objektivlinsen („*Rapid Rectilinear Lenses*") sind absolut aplanatisch, und die gröfseren Nummern derselben Art werden sowohl bei Sonnenfinsternissen als auch in der Stellarphotographie benützt. Vergleiche auch C. Fabre, Traité Encyclopédique de Photographie, tome I 1889, S. 118—120.

[2]) Streng genommen ist die Genauigkeit bei dem von mir verwendeten Mikroskop noch gröfser; denn da jeder Okular-Mikrometerteil $= \frac{17}{1000}$ mm ist, und da halbe Okolar-Mikrometerteile abgelesen werden können, so ist die Genauigkeitsgrenze $\frac{34}{200} \times 60 \times 60 \times \frac{17}{1000} \times \frac{1}{2}$ Bogensekunden $= 5{,}2$ Bogensekunden. Da jedoch dies bei verschiedenen Mikroskopen verschieden ist, so setze ich, um sicher zu gehen, 6 Bogensekunden als Genauigkeitsgrenze für jede einzelne Exponierung fest.

[3]) Vergleiche Jordan, Astronomische Zeit- und Ortsbestimmung 1885, das daselbst S. 348 über Sextanten-Messungen Gesagte.

abgelesen werden können, und somit nur die Bruchteile mikrometrisch zu bestimmen sind. Die Messung der Fixsterne wird in der gleichen Weise behandelt. In ähnlicher Weise kann für diesen Zweck auch das bekannte „réseau" auf die Negativplatte geschraubt werden, welches auf den astronomischen Hauptobservatorien den stellarphotographischen Messungen zu Grunde gelegt wird. Ich selbst habe meine ersten Messungen mit einem solchen gemacht, welches ich vom Observatorium zu Greenwich erhielt. Das „réseau" hat jedoch den Übelstand, dafs die Koordinaten einen Abstand von 5 mm von einander haben, es also unter Umständen schwierig ist, die kleineren Teile mikrometrisch abzulesen[1]). Was nun die Messungen selbst anbetrifft, so ist in erster Linie zu bemerken, dafs infolge der Rotation der Erde die Sterne bei Exponierungen von 15 oder 20 Sekunden als kleine schwarze Linien auf der photographischen Negativplatte erscheinen. Dies ist ein für die Genauigkeit aufserordentlich günstiger Umstand, indem die Mitte dieser Linien unter dem Mikroskop haarscharf bestimmt werden kann. Auf den Platten werden nun zuerst die Entfernungen des Fixsternpaares (von Mitte zu Mitte der schwarzen Linien) gemessen, und da dessen Winkeldistanz bekannt ist, so läfst sich daraus der Wert der linearen Distanzen mit Leichtigkeit berechnen. Nun wird die Messung der Monddistanzen vorgenommen, und zwar vom Mondrand nach der Mitte der kleinen schwarzen Linie, welche den Stern repräsentiert. Da die Stellung des Mondrandes natürlich immer nur dem Anfang oder dem Ende der photographischen Exponierungen entsprechen kann, so müfste man, um die richtige Monddistanz zu bekommen, vom Mondrand bis zu dem korrespondierenden Ende der durch den Stern dargestellten schwarzen Linie messen. Die Genauigkeit wird jedoch bedeutend erhöht, wenn man bis zur Mitte der Sternlinie mifst, und das weitere Stück der Distanz, welches entweder abgezogen oder addiert werden mufs, berechnet, was eine ganz leichte Sache ist, da man sowohl die Länge der Exponierung als auch die Deklination des Sternes kennt. Noch einen weiteren Punkt von grofser Wichtigkeit mufs ich erwähnen, nämlich die Messung am Mondrand. Dort findet sich häufig auf der photographischen Platte ein leichter Schatten, der

---

[1]) Selbstverständlich können die mikrometrischen Messungen auch noch in anderer, und zwar bequemerer Weise gemacht werden, wenn man eigens dazu konstruierte Instrumente benützt. Es ist dies nur eine Frage der Kosten. Ein solches Instrument für stellarphotographische Zwecke ist beschrieben im „Annuaire pour l'an 1887 publié par le Bureau des Longitudes" S. 791—794; ein ähnliches Instrument wird auf der Sternwarte zu Greenwich in Verbindung mit dem erwähnten „réseau" angewandt.

mit der Dicke der sensitiven Schicht der Platte zusammenhängt. Man mifst nicht bis zu diesem Schatten, sondern bis zum Mondrand selbst, den man als ganz scharfe Linie erkennt, wenn man die Platte im auffallenden Licht betrachtet. Ein wenig Übung verschafft auch für die Beobachtung bei durchfallendem Licht im Mikroskop die nötige Sicherheit. Bereits oben habe ich erwähnt, dafs die mitzumessenden Fixsterne ungefähr ebensoweit von einander abstehen müssen, wie Mond und Stern in dem betreffenden Fall. Es hat dies seinen Grund in der Wölbung der photographischen Bildfläche[1]). Bei richtiger Einstellung wird (gemäfs der oben besprochenen Einrichtung des Apparates) die gewölbte Bildfläche von den photographischen Platten da geschnitten, wo die Bilder von Mond und Stern sich befinden, und somit ist klar, dafs kein Fehler möglich ist, wenn wir das Fixsternpaar so wählen, dafs es auf den Platten ungefähr dieselben Abstände vom Mittelpunkt der oben besprochenen (auf der Visierscheibe angebrachten) Millimeter-Skala hat wie die betreffende Monddistanz. Hierbei möchte ich noch bemerken, dafs man das Fixsternpaar entweder auf derselben Platte, abwechselnd mit den Monddistanzen, photographieren kann, oder — was in manchen Fällen vielleicht bequemer ist — auf Separatplatten. Natürlich mufs im letzteren Fall die gleiche Sorte von photographischen Platten genommen und die gleiche Methode der Entwickelung angewandt werden, wie bei den dazu gehörigen Monddistanzplatten.

Es wird sich auf Landreisen empfehlen, nicht an zu vielen Orten die Länge durch photographische Monddistanzen zu bestimmen, sondern nur in bestimmten — allerdings nicht zu grofsen — Zeitintervallen eine Längenbestimmung vorzunehmen. Diese jedoch mufs mit aller Sorgfalt und Genauigkeit ausgeführt werden. Auch für die Bestimmung der geographischen Breite möchte ich dasselbe vorschlagen. Die dazwischen liegenden Strecken des Reiseweges lassen sich mit Uhr und Kompafs vollständig genau niederlegen, und es ist klar, dafs bei dieser Art der Routenaufnahme viel an Mühe gespart und bedeutend an Genauigkeit gewonnen wird.

Wenden wir uns nun noch zum letzten Punkt, nämlich zu der wichtigen Frage, ob die neue Methode von irgend einem Nutzen für Navigationszwecke werden kann, da sie doch nur auf dem festen Land, nicht aber zur See anwendbar ist. Trotz des letzteren Umstandes glaube ich dies in bejahendem Sinn beantworten zu dürfen, und hoffe, dafs sie der Schiffahrt in einer überaus wichtigen Sache von Nutzen sein wird, nämlich zur Bestimmung von Sekundärmeridianen. Trotz der heutigen

---

[1]) Vergleiche H. Vogel, Lehrbuch der Photographie, 1870, S. 161, 170—174; Fabre, Traité Encyclop. de Photogr., tome I 1889, S. 55—56.

telegraphischen Verbindungen hat die Britische Admiralität bis jetzt nicht einmal ganz 100 Punkte als Sekundärmeridiane gelten lassen können[1]), und dieselben sind dazu noch vielfach ungleichmäfsig über die Erde verbreitet. Raper, dessen „Practice of Navigation“ in England als das beste praktische Navigationsbuch gilt, sagt darüber: „Die genaue Bestimmung maritimer Positionen, speziell der Längen, wird, je weiter die Schiffahrt sich vervollkommnet, eine Frage von immer gröfserer Wichtigkeit, weil, wo Längen genau bestimmt sind, der irrige Gang des Chronometers bei jeder Gelegenheit, wo man ans Land kommt, genau kontrolliert werden kann.“ Wie sich die Zahl der nautischen Sicherheitssignale immer mehr über die ganze Erde ausdehnt, so sollte es auch mit den sekundären Meridianen der Fall sein. Wenn der Schiffer an jeder Insel, an jedem ihm bekannten Vorgebirge den Gang seines Chronometers genau kontrollieren kann[2]), dann wird diejenige Sicherheit und Einfachheit in die nautische Längenbestimmung kommen, welche die Schiffahrt von heutzutage erfordert. Wieviele Unglücksfälle, wieviele Schiffbrüche ungenau bestimmten maritimen Positionen, namentlich Längen, zuzuschreiben sind, ist allgemein bekannt. Ich habe die feste Überzeugung, dafs auch in dieser Hinsicht die neue Methode sich als nützlich erweisen wird.

Zum Schlufs habe ich noch des Dankes zu erwähnen, den ich verschiedenen Herren vom Kgl. Observatorium zu Greenwich, von der Kgl. Geographischen Gesellschaft zu London und von der Britischen Admiralität schuldig bin. Namentlich habe ich in dieser Hinsicht die Herren Turner, Simpson und Captain Wharton zu nennen. Ohne die wissenschaftliche Beihülfe Herrn Turner's und ohne die praktische des Herrn Simpson wäre es mir nicht möglich gewesen, unter den sehr ungünstigen meteorologischen Verhältnissen Londons so viele gute Resultate zu erhalten, als dies in der That der Fall war; und durch Captain Wharton's Vermittlung erhielt ich die zu meinen Untersuchungen nötigen Chronometer. Ich spreche deshalb diesen Herren hiermit meinen verbindlichsten Dank aus.

---

[1]) Siehe Raper, Practice of Navigation etc., 1891, S. 391; und die Tabelle von Sekundärmeridianen, a. a. O., S. 392—395.

[2]) Siehe hierüber auch Neumayer, Anleitung zu wissensch. Beob. auf Reisen, 1875, Artikel Hydrographie und Oceanographie S. 670—671.

Beispiel.

Die zur Reduktion benutzten Formeln sind durchweg exakte trigonometrische Formeln und basieren hauptsächlich auf folgenden Abhandlungen:

Chauvenet, A Manual of Spherical und Practical Astronomy, 4th edition, 1868.

Bessel, Neue Berechnungsart für die nautische Methode der Mondes-Distanzen, in Schumacher's Astronomischen Nachrichten, Bd. 10, S. 17 ff.

—, Astronomische Untersuchungen, Bd. II, 1842, S. 266 ff: Neue Berechnungsart für die Methode der Entfernungen des Mondes von anderen Himmelskörpern.

Jordan, Grundzüge der astronomischen Zeit- und Ortsbestimmung, 1885.

Beobachtet wurden am 5. Juni 1892 zu London (3 Wells Villas, Bowes Park, N.) eine Serie von acht photographischen Monddistanzen zwischen Mond und Spica und eine Serie von acht Fixstern-Distanzen zwischen α und γ Cassiopejae. Der Durchschnitt der Monddistanzen, mikrometrisch gemessen auf der photographischen Platte, betrug 20.679 mm, und der Durchschnitt der Fixsterndistanzen 27.078 mm (weitere Details siehe oben im Text). Geographische Breite des Beobachtungsortes $51^\circ\ 36'\ 30''$ n. Br., Thermometer 13° C., Barometer 30.1 englische Zoll. Der Chronometergang wurde durch die direkten telegraphischen Zeitsignale von der Greenwicher Sternwarte nach dem Hause der Royal Geographical Society, London, kontrolliert; die Ortszeit-Korrektion zur Zeit der Beobachtung betrug $7^m\ 27^s$ (Chronometer vorgehend). Der Durchschnitt der Chronometerzeit der acht Monddistanzen (welche in Intervallen von je einer halben Minute genommen sind), bezogen auf das jedesmalige Ende der einzelnen Exponierungen, war $10^h\ 43^m\ 35^s$ nachmittags. Folglich war die korrekte Ortszeit der Beobachtung $10^h\ 36^m\ 8^s$ nachmittags. Der Durchschnitt der Chronometerzeit der acht Fixsterndistanzen (welche in Intervallen von je einer halben Minute genommen wurden), bezogen auf die jedesmalige Mitte der einzelnen Exponierungen, war $11^h\ 49^m\ 55^s$ nachmittags; folglich war die korrekte Ortszeit $11^h\ 42^m\ 28^s$.

Rektascension von α Cassiopejae am 5. Juni 1892	$8^\circ\ 35'\ 26''$
Polardistanz „ „ „ „ „ „ „	$34^\circ\ 3'\ 31''$
Rektascension „ γ „ „ „ „ „	$12^\circ\ 32'\ 33''$
Polardistanz „ „ „ „ „ „ „	$29^\circ\ 52'\ 17''$

daher Winkeldistanz D' zwischen α und γ Cassiopejae (nach der Formel $\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos \alpha$)

$$D' = 4^\circ\ 40'\ 44''.$$

Korrektion für Refraktion ($\mu = 4''$):

$$D'' = D' - \mu = 4^\circ\ 40'\ 40''.$$

Winkeldistanz von Mondrand und Spica nach der Formel $\operatorname{tang}\frac{D_3}{2} = \frac{m}{n}\operatorname{tang}\frac{D''}{2}$, wobei $m = 20.679$ mm (siehe oben im Text) und $n = 27.078$ mm (siehe oben im Text).

$$\log 20.679 = 1.3155295$$
$$E \log 27.078 = 8.5673834$$
$$\log \operatorname{tang} 2^\circ\ 20'\ 20'' = 8.6111258$$
$$\log \operatorname{tang}\frac{D_3}{2} = 8.4940387$$

$$\frac{D_3}{2} = 1^\circ\ 47'\ 12''$$
$$D_3 = 3^\circ\ 34'\ 24''$$

Korrektion für Halbmesservergröſserung des Mondes nach der Formel $D_{II} = D_3 + P_1$, wobei $P_1 = 14^\circ\ 53'$ ist,

$$D = 3^\circ\ 49'\ 17''.$$

Korrektion für die scheinbare Abplattung der Mondscheibe durch Refraktion nach der Formel $D_2 = D_{II} - l$, wobei $l = 1''$ ist,

$$D_2 = 3^\circ\ 49'\ 16''.$$

Nun werden in bekannter Weise die wahren und scheinbaren Zenithdistanzen von Mond und Stern berechnet (siehe z. B. Jordan, Astronomische Zeit- und Ortsbestimmung, 1885). Man erhält für den gegebenen Fall:

Wahre Zenithdistanz des Mondcentrums $= a = 64^\circ\ 44'\ 35''$
„ „ von Spica . . . . $= b = 68^\circ\ 46'\ 10''$
Scheinbare „ des Mondcentrums $= c = 65^\circ\ 31'\ 46''$
„ „ von Spica . . . $= d = 68^\circ\ 43'\ 42''$

Man berechnet nun $\frac{\sin a \sin b}{\sin c \sin d} = n$ und erhält sodann die Reduktion der Monddistanz auf den Erdmittelpunkt durch die Formel:

$$\cos D_1 = n \cos D_2 - n \cos c \cos d + \cos a \cos b.$$

$\log \sin 64^\circ\ 44'\ 35'' = 9.9563622$
$\log \sin 68^\circ\ 46'\ 10'' = 9.9694769$
$E \log \sin 65^\circ\ 31'\ 46'' = 0.0408754$
$E \log \sin 68^\circ\ 43'\ 42'' = 0.0306444$

$\log n = 9.9973589$

$\log \cos 3^\circ\ 49'\ 19'' = 9.9990335$
$\log n$ . . . . . $= 9.9973589$

9.9963924   0.9917275

$\log \cos 65^\circ\ 31'\ 46'' = 9.6172369$
$\log \cos 68^\circ\ 43'\ 42'' = 9.5596558$
$\log n$ . . . . . $= 9.9973589$

9.1742516   0.1493659

$\log \cos 64^\circ\ 44'\ 35'' = 9.6301006$
$\log \cos 68^\circ\ 46'\ 10'' = 9.5588546$

9 1889552   0.1545095

+ 0.9917275
+ 0.1545095

+ 1.1462370
— 0.1493659

$\cos D_1 = 0.9968711 \qquad D_1 = 4^\circ\ 32'\ 1''$

Bis hierher wurde in der Berechnung die Erde als Kugel betrachtet. Die Korrektion für die Abplattung der Erde ist:

$$D - D_1 = \frac{\varepsilon^2}{\sqrt{1 - \varepsilon^2 \sin^2 \phi}} \pi \sin \phi \left(\frac{\sin \Delta}{\sin D_1} - \frac{\sin \delta}{\operatorname{tang} D_1} \right),$$

wobei ϕ die geographische Breite des Beobachtungsortes, π die Horizontal-Äquatorial-Parallaxe des Mondes, ε die Excentrizität der Erde, Δ die Deklination des Sternes,

δ die geocentrische Deklination des Mondcentrums bezeichnet. In dem gegebenen Fall ist $D - D_1 = -11''$,

somit $D = 4^\circ\, 31'\, 50''$

und dies ist die geocentrische Monddistanz.

Berechnet man nun andererseits die entsprechende Monddistanz nach dem Nautical Almanac für die Greenwicher Zeit der Beobachtung, welche nach den Angaben der englischen Ordnance Survey-Karte (One Inch Ordnance Survey Sheet 256) als $10^h\, 36^m\, 36^s$ nachmittags anzunehmen ist, so hat man für diese Zeit am 5. Juni 1892:

Südliche Deklination des Mondcentrums	$7^\circ\, 35'\, 35''$
„ „ von Spica	$10^\circ\, 36'\, 1''$
Differenz der Rektascensionen von Mondcentrum und Spica	$3^\circ\, 25'\, 54''$

Die Monddistanz a ergiebt sich nun nach der Formel:

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos \alpha,$$

wobei $b = 100^\circ\, 36'\, 1''$, $c = 97^\circ\, 35'\, 35''$, $\alpha = 3^\circ\, 25'\, 54''$ ist.

$$\log\cos b = 9.2647142$$
$$\log\cos c = 9.1210217$$
$$8.3857359 \qquad 0.02430725$$

$$\log\sin b = 9.9925246$$
$$\log\sin c = 9.9961751$$
$$\log\cos\alpha = 9.9992206$$
$$9.9879203 \qquad 0.97256867$$

$$\cos a = 0.9968759|2$$

$$a = 4^\circ\, 31'\, 49''.$$

Somit:

Beobachtete Monddistanz	$4^\circ\, 31'\, 50''$
Berechnete „	$4'\, 31'\, 49''$
Differenz	$1''$

